儿童精细动作技能与数学能力的关系：一项元分析[1]

康　丹　文　敏　张颖杰

（湖南师范大学教育科学学院，认知与人类行为湖南省重点实验室，长沙 410081）

摘　要　儿童精细动作技能与数学能力的关系在既有研究中存在分歧，为明确两者间的整体关联强度及其影响因素，运用元分析方法对国内外相关研究进行整合分析。通过文献检索和筛选，共计纳入 34 篇文献，42 个效应量，总样本量为 78527 人。出版偏倚检验显示，本研究所纳入元分析的文献不存在出版偏倚；异质性检验发现，选取随机效应模型较为合适。结果表明，精细动作技能与数学能力呈中等程度的正相关（r = 0.27，95%CI 为[0.23, 0.32]）；两者的关系受到文化背景和精细动作技能测量工具的调节，但不受儿童年龄和性别的调节。该结果提示教育者需要对早期儿童基础动作技能的发展予以重视，采取有效的精细动作技能的训练方式，提高儿童的精细动作水平，以推动其数学能力的发展。

关键词　精细动作技能，数学能力，具身认知，元分析

分类号　B844

1　引言

精细动作主要是指手指的运动或活动。精细动作技能是个体其他领域发展的重要基础(Pitchford et al., 2016)。人类的穿衣、吃饭、绘画和书写等活动都离不开精细动作。精细动作的发展始于婴儿期，在学前期得到迅速发展。认知发展理论(Cognitive Development Theory)和感知运动理论(Perceptual Motor Theory)认为，动作技能和认知技能是紧密联系在一起的(Piaget & Inhelder, 1966)。这是因为个体执行精细动作，既需要手以及手指等部位肌肉的协调和力量的控制与调整，也需要感知觉等多方面心理活动的配合完成(耿达 等, 2015)。手指完成精细动作的过程，同时刺激到大脑，从而有利于大脑的发育。神经影像学的研究进一步为人类手指神经与大脑神经之间的联系机制提供了实证依据(Diamond, 2000)。自 20 世纪 80 年代以来，精细动作技能与认知成就关系受到研究者的广泛关注，尤其是精细动作与数学认知发展的关系。儿童早期的数学认知能力的发展是基于动作经验的（Fischer et al., 2022）。早期儿童用手指表示数字或数数，借助手指动作活动来理解数字的含义或大小(Domahs et al.,

收稿日期：2022-09-22

[1] 湖南省社科基金教育学专项重点项目(JJ226740)。

通信作者：康丹, E-mail: kangdankang@163.com

2010; Madden, 2001)，并通过精确地移动手指来有效地学习计数技能(Asakawa & Sugimura, 2014)。可见，精细动作技能与数学认知发展产生关联的最突出的例子是手指计数。在各国文化中，儿童使用手指进行计数是一种普遍现象。手指计数构成了人类数学能力发展的关键步骤(Crollen et al., 2011)。鉴于手指计数对儿童数学能力发展的突出贡献，有的研究者主张，成功的手指计数是未来数学发展的基石，应该允许学前儿童和小学早期儿童充分运用手指进行运算（Cameron et al., 2016）。但是，也有研究者持有不同的观点。他们认为，手指计数只是一个起点，持续地使用手指计数将阻碍儿童对数字、运算和计算策略的理解，而难以产生其他计算策略(Krauthausen & Scherer, 2001)；使用手指进行计数和运算，是一种不成熟的策略，应该在早期培养更抽象的心理数字表征能力(Moeller et al., 2011)。可见，对于手指计数是支持还是不利于数学能力的发展，研究者们的观点并不一致。

通过对近 30 年来的相关文献的回顾和梳理，发现精细动作技能与数学能力的相关系数差异较大，两者的相关系数自−0.727 到 0.730 均有报告(Morales et al., 2011; Suggate et al., 2017)。因此，精细动作技能与数学能力是否相关及相关程度如何仍然不甚明了。此外，梳理已有的研究发现，儿童年龄、性别、文化背景和测量工具等可能调节了两者的关系。但是，目前尚未有元分析涉及到两者的关系，也未探讨两者间的调节变量。基于此，有必要采用元分析的方法聚合当下的研究结果并探讨可能影响两者关联强度的因素，从而让教育者更准确地把握儿童精细动作与数学能力的发展的关系，更全面地了解儿童数学能力发展的机制，为采取正确的数学教育方法提供依据。

1.1 精细动作技能的概念和测量

精细动作技能(Fine Motor Skills, FMS)是指发展和使用手、前臂、上臂和肩部的小肌肉群完成各种操作性活动的能力(宁科 等, 2020)。对于精细动作技能的结构划分，至今没有统一结论。已有研究对精细动作技能的结构划分为三种类型，这三种类型均包括生活技能和书写技能两个核心成分(表 1)。生活技能，主要指穿衣、扣纽扣、系鞋带等活动。生活技能可以为儿童形成良好的生活习惯提供保障，也能促进其大脑皮层相应区域认知能力的发展(曲方炳 等, 2012)。书写技能主要分为描摹(透过覆在原件上的透明纸按照看得见的图形、字母和数字描摹)和复制(在一张新纸上复制字母、数字和几何形状)两种形式，涉及同步的手眼运动和视觉刺激的处理。生活技能和书写技能均需要将手指运动和眼睛看到的事物联系起来，两者的区别在于，生活技能是对手指运动的控制，没有把重点放在整合视觉信息上；而书写技能更依赖视觉接受信息，重点在于整合视觉信息，以便通过书写动作进行输出(Oberer et al.,

2018)。可见，书写技能对儿童的学业发展至关重要。研究发现，学前儿童的书写技能比生活技能更能预测二年级的数学和阅读成绩(Dinehart & Manfra, 2013)。即使控制了性别、社会经济地位、智商等协变量后，书写技能仍然能够显著预测数学能力(Carlson et al., 2013)。但是，在大多数研究中并没有把书写技能与生活技能从精细动作技能中分离开来，而是将两者合为一个整体来考察其与数学能力的关系。因此，本研究对精细动作技能的核心成分没有进行区分，而是将其作为整体来确定其与数学能力之间的关联程度。

精细动作技能的测量工具较多。例如，学习成就档案诊断量表(Learning Accomplishment Profile-Diagnostic, LAP-D)、布尼氏动作熟练度测试(Bruninks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, BOT-2)、Beery 视动整合测验(Beery Visual Motor Integration, Beery VMI)、儿童动作测量量表第二版(Movement Assessment Battery for Children (2nd ed.), MABC-2)、早期筛查量表(Early Screening Inventory-Revised, ESI-R)和东亚-太平洋早期儿童发展量表(East Asia-Pacific Early Child Development Scales，EAP-ECDS)等，均是具有较好的信效度且使用较为广泛的标准化测量工具(表 2)。由于精细动作技能的结构划分不一致，各个研究中的考察重点有所差异。但是，大多数测量任务均包含了书写技能和生活技能两个核心成分或其中一个成分。其他自编任务的工具，均是基于手部精细动作的协调与控制编制的，考察了手及手指等小肌肉的运动，将其纳入元分析是可行的。

表 1 精细动作技能的结构划分

作者年份	国家	精细动作技能的结构划分	定义	测量	核心成分
Dinehart & Manfra, 2013	美国	精细动作操作 (Fine Motor Manipulation, FM)	儿童的手部灵活性，即个人用手准确操纵物体的能力，侧重于操纵物体。	扣纽扣、系鞋带、串珠、投币和搭建积木	生活技能
		精细动作书写 (Fine Motor Writing, FW)	书写动作能力，侧重于书写。	绘画、复制字母、数字和形状	书写技能
Pitchford et al., 2016	英国	精细动作整合 (Fine Motor Integration, FMI)	手动能力，需要同步的手眼运动和视觉刺激的处理，以产生足够的运动输出。	复制各种几何形状，其复杂程度从简单的圆形到重叠的铅笔	书写技能
		精细动作精度 (Fine Motor Precision, FMP)	“纯粹的”精细手工技能，它依赖于最小的视觉感知成分。	在特定的边界内折叠、切割和绘画	生活和书写技能
Carlson et al., 2013	美国	视觉空间整合 (Visual-Spatial Integration,VSI)	涉及手和手指的小肌肉运动的组织和视觉刺激处理的技能。	写作和复制任务	书写技能
		视觉运动协调 (Visual-Motor Coordination,VMC)	具有视觉成分的精细运动协调（控制小手指的运动）。	①各种感觉运动任务，如追踪、手指敲击和模仿手部动作；②描摹任务	生活和书写技能

表 2 国内外常用的儿童精细动作技能评估量表

量表名称	作者年份	量表核心成分及测量任务
学习成就档案诊断量表(Learning Accomplishment Profile-Diagnostic, LAP-D)	Nehring et al., 1992	①生活技能：堆叠积木、穿孔、串珠、翻书、钉板、剪裁、捏橡皮泥以及折纸等任务。 ②书写技能：描摹字母、数字和形状(正方形或圆形)、画一些简单的物体(比如人和房子)。
布尼氏动作熟练度测试(Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, BOT-2)	R. H.Bruininks & B. D.Bruininks, 2005	①生活技能：在特定边界内折叠和切割。 ②书写技能：复制几何形状、在特定边界内绘画。
Beery 视动整合测验(Beery Visual Motor Integration, Beery VMI)	K. E. Beery & N. A. Beery, 2010	书写技能：描摹和复制几何图形。
儿童动作测量量表第二版(Movement Assessment Battery for Children (2nd ed.), MABC-2)	Petermann, 2009	①生活技能：放置硬币、串珠、投豆袋和抓握豆袋。 ②书写技能：描画。
早期筛查量表(Early Screening Inventory-Revised，ESI-R)	Meisels et al., 1997	①生活技能：积木建构任务。 ②书写技能：描摹和绘画任务。
东亚-太平洋早期儿童发展量表(East Asia-Pacific Early Child Development Scales，EAP-ECDS)	Rao et al., 2014	①生活技能：折纸和串珠等任务。 ②书写技能：复制形状和绘画任务。
盒块测试(Box and Block Test, BBT)	Mathiowetz et al., 1985	生活技能：移动积木任务。
其他测量	李蓓蕾 等, 2003	生活技能：握筷任务。
	Martzog, 2015	生活技能：钉板任务、串珠任务和翻块任务。
	Pagani et al., 2010	生活技能：操纵物体任务。

1.2　数学能力的内涵及测量

数学能力是一个多维度、多层次的结构系统。瑞典心理学家魏德林(Werdelin)指出，数学能力是理解数学的问题、符号、方法和证明本质的能力；是学会它们、在记忆中保持和再现它们的能力；是把它们同其它问题、符号、方法和证明结合起来的能力；是在解决数学问题时应用它们的能力（喻平, 2004）。美国多数学者认为，儿童数学能力包括问题解决能力、逻辑推理能力、数学交流能力、数学关联能力和数学表征能力(全美数学教师理事会, 2014)；德国的学者认为，儿童数学能力包括问题解决能力、关联能力、数学论证能力、数学建模能力和数学描述能力(杜文平, 2014)。我国的研究者将数学能力界定为顺利而有效地完成数学活动的个性心理特征(胡中锋, 2001)，由三种思维能力(数学运算能力、逻辑思维能力和空间想象能力)和五种数学思维品质构成(思维的深刻性、灵活性、独创性、批判性和敏捷性)(林崇德, 2003)。虽然各国学者对数学能力结构的看法存在差异，但总体而言，数学能力的各组成部分之间相互依存、相互制约，共同构成了动态的、多层次、多维度的立体网络结构(孙以泽，2003)。综上所述，本研究将数学能力定义为，个体顺利而有效地完成数学活动的个性心理特征，即在学习、研究、发现数学知识和运用数学知识解决数学问题的活动中形成和发展起来的心理能力，具体表现为在各种数学能力测量工具和测量任务中的得分。

儿童数学能力的测量工具较多，其中被广泛使用的是伍德科克-约翰逊成就测试(Woodcock-Johnson III Tests of Achievement)和韦克斯勒个人成就测验(Wechsler Individual Achievement Test)。其中，伍德科克-约翰逊成就测试的信度系数在 0.76 到 0.99 之间(Mather, 2001)；韦克斯勒个人成就测验的信度系数为 0.92 到 0.99(Wechsler, 2005)。这两项标准化测量主要涉及的是算术、数学运算和问题解决等。此外，在一些研究中有专门针对学前儿童数学能力的测量工具或者自编数学任务，主要涉及计数、数的比较、数字估计和简单的加减运算等。例如，由 Ginsburg 和 Braoody(2003)研发的早期儿童数学能力测量(Test of Early Mathematics Ability，TEMA)量表，受到了较为广泛的推崇。该量表适用于 3~8 岁 11 个月儿童的早期数学能力的测查，重测信度为 0.85，内部一致性为 0.94(康丹, 2014)；荷兰学者 Van de Rijt 等人(1998)研发的早期数学测验(Early Numeracy Test, ENT)，可用来评估 4 岁 7 个月至 7 岁 6 个月的基础数学能力，内部一致性为 0.9(Aunola et al., 2004)。学龄儿童数学能力的测量主要在本国家标准化学业测试(如加州标准化学业测试、斯坦福和海德堡测试)中进行考察，主要为数量比较、加减运算和问题解决等。

1.3 精细动作技能与数学能力的关系

关于精细动作技能与数学能力关系的研究，存在一些争议。整合以往研究发现主要有三种观点：第一种观点认为两者呈正相关，且精细动作技能是儿童数学能力的重要预测因素。大量研究显示，精细动作技能与识字、数学成绩呈正相关 (Cameron et al., 2012; Roebers et al., 2014)。在排除其他背景变量（如性别、年龄和社会经济地位）影响后，学前儿童的精细动作不仅与数学能力相关，而且可以很好预测小学一年级的数学成绩(Roebers et al., 2014; Cameron et al., 2016)。书写技能强的儿童比书写技能差的儿童在学习数字、字母及复杂的学习任务方面进步更快(Cameron et al., 2012)。也有研究者对学前儿童的精细动作进行了干预，结果显示干预组儿童的数学能力有了很大的提升（Gracia-Bafalluy & Noël, 2008)。此外，数学能力也会对精细动作产生影响，儿童早期的数学学习能够提高其精细动作能力，在位值、数的组成、操作物和具体表征、数感等数学能力发展中，儿童的精细动作技能会得到相应的发展(Klupp et al., 2021)。数学能力发展较弱的儿童，其精细动作发展也较弱(Asakawa et al., 2019)。第二种观点认为，精细动作技能与数学能力的相关关系不显著。相关横向和纵向研究均表明精细动作技能与数学能力的相关关系不显著(Haapala et al., 2014; Van Niekerk et al., 2015)。第三种观点认为，精细动作技能与数学能力的相关关系并不稳健，两者关系在不同年龄群体间会呈现不同方向的相关性。相关实证研究发现，当个体处于学前期时，精细动作技能能够正向预测数学能力(Roebers et al., 2014; Cameron et al., 2016)；但当个体处于学龄期时，精细动作技能与数学能力呈负相关(李蓓蕾 等, 2003; Morales et al., 2011; Malone et al., 2022)。

在目前的研究中，主要有三个理论尝试解释了两者的关系机制。具身认知的观点(Embodied Cognition View)认为，除了大脑之外，身体在认知过程中扮演着重要的角色(王翠艳，张凯，2014)。身体的发展在某种程度上可以被视为是认知的发展程度，认知依赖于个体的感知和动作系统(曲方炳 等, 2012)。手的精细动作在婴幼儿认识事物的各种属性和联系、知觉的完整性和具体思维能力的发展方面起到至关重要的作用(曲方炳 等，2012)。儿童早期能够通过手指的精细动作，形成数量表征。早期儿童在计数和运算的时候，依赖外部手指表征，其主要表现为儿童在计数的过程中，用手移动、摆弄或触摸被数的物体，然后逐步脱离对物体的触摸和手指的运用(黄瑾, 田方, 2015)。产生这种变化的原因是儿童将手指运算模式内化为表象运算模式。可见，手指动作介入了数学认知，能够与数字联系起来，呈现数量的具象表达，更有助于儿童理解数字。脑成像研究进一步证实了这一观点，儿童手指运动和手指认知活动激活的大脑区域与数字处理的大脑区域相似（Berteletti & Booth, 2015）。

澳大利亚认知心理学家约翰·斯威勒(1988)提出认知负荷理论(Cognitive Load Theory)，主要指在复杂的教学过程中，通过控制记忆负荷，最大限度地降低阻碍学习的认知负荷(周盼盼，袁海泉, 2021)。早期儿童在进行计数时，需要依赖手指动作进行手口一致地点数。儿童

在用手部动作进行点数时，通过在视觉上和动觉上跟踪已经数过的物体，能够减轻他们工作记忆的负担，而被释放的工作记忆资源能够更好地完成计数任务(Kirsh & Maglio, 1994)。Schmidt 等人(2017)对精细动作技能与学业成绩的关系做出的“自动化解释”进一步论证了认知负荷理论的合理性。他们认为，儿童精细动作技能的发展与学业成绩之间可能存在间接的因果关系，这种关系是由执行功能中介的(Malone et al., 2022)。根据这种观点，如果儿童完成基本课堂任务所需的精细运动技能随着练习(例如书写)达到自动化程度后，那么他的注意力和其他执行功能技能可以专注于更复杂的概念和学术技能发展(如算术等)(Cameron et al., 2016; Kim et al., 2018)。也就是说，就数学学习而言，随着精细动作技能的逐渐熟练和自动化，儿童的一般认知能力不再集中在精细动作技能，而用于分配到更复杂的数学学习任务中，进而有助于提高数学学业成绩。

再利用观点(Redeployment View)则从神经心理学的角度出发，强调手指动作与数学之间的作用。再利用观点又叫“大规模重新部署假说(Massive Redeployment Hypothesis, MRH)”。有证据表明，一个正常的大脑区域会对许多跨领域的认知用途做出贡献，在这些用途中执行相同的工作(Anderson, 2010)。研究者们发现，个体在计数时，大脑手部运动回路被激活(Andres et al., 2007)；个体在处理数字时，运动皮层周围的区域也被激活了(Tschentscher et al., 2012)。两者共享了一部分神经资源，某些参与手指表征的区域，通过进化机制参与了数量表征，抑或是这些区域被“重新部署”来支持数字认知。因此，这部分区域可以既可以用于手指表征，也可以用于数量表征。

综上所述，具身认知理论、认知负荷理论和再利用观点均在一定程度上解释了精细动作技能与数学能力之间的关系机制，但是存在一定的局限性。具身认知理论动摇了“脑是心理的器官”这一基本常识，认知负荷理论的解释可能主要适用于中小学学生群体，再利用观点关于手指活动与数量加工的神经网络存在交叠也需要得到更多相关认知神经研究的支持(王翠艳, 张凯, 2014)。考虑到上述三种观点的争议以及相关理论解释两者关系机制的局限，本研究从元分析的角度进行深入分析和探讨。基于第一种观点(两者呈正相关)得到了较多研究的证实，提出研究假设 1：精细动作技能与数学能力存在正相关关系。

1.4　精细动作技能与数学能力关系的调节变量

儿童年龄可能影响精细动作技能与数学能力的关系。精细动作技能是儿童生活和学习的基础，通常是在儿童时期发展起来的，但存在着发展的阶段性和不平衡性。个体的精细动作始于婴儿期的无条件反射，在学龄前期飞速发展。研究表明，学前期是精细动作发展的关键期，因为该阶段的学前儿童开始不断尝试绘画、书写以及抓握，这一时期的发展最为迅速(董奇, 陶沙, 2004)。学前儿童的精细动作随着经验的增加(如绘画、手工、玩沙玩水、操作活动以及其他游戏活动)逐渐丰富，一般进入学龄期才趋于稳定 (Dinehart & Manfra, 2013)。因此，

精细动作在不同年龄阶段的发展水平可能影响数学学习。此外，一项对 4~11 岁儿童的横断研究表明，动作技能与认知之间的相关性受到不同年龄群体的调节，学龄儿童(7 岁)的动作技能与认知的相关系数最弱(Davis et al., 2011)。故本研究将被试对象分为学前儿童和学龄儿童，基于以上所述提出研究假设 2：儿童年龄能够在精细动作技能与数学能力的关系中起到调节作用。

性别可能影响精细动作技能与数学能力的关系。性别图式理论认为，图式是个体与环境相互作用形成，一旦图式形成，个体就被期望按与传统性别角色相一致的行为行事(邢强, 2002)。研究表明，社会对女孩的要求一般是“安静的，喜欢手部小肌肉精细动作”，而对男孩的要求则是“激烈的，喜欢全身大肌肉的粗大动作”(董奇, 陶沙, 2004)。由于性别刻板化印象的存在，儿童被要求学习所处社会的性别图式内容，从而拥有与自己性别图式相联系的特质(冯明, 叶泽川, 1996)。依据这一理论的观点，女孩可能有更多的机会练习与性别图式相符合的精细动作技能，女孩的精细动作技能可能比男孩发展得更好。此外，也有研究表明，女孩的触觉阈限比男孩低，更擅长完成精细动作任务(方莹, 2017)，且女孩更喜爱在角色游戏中担任“妈妈”和“姐姐”这类角色，故具备更多的精细动作技能训练机会(吴卫东, 2011)。因此，女孩能够利用性别优势更好的发展精细动作技能，以支持计数与简单的运算，而男孩不具备这种优势。综上，本研究提出假设 3：儿童性别能够在精细动作技能与数学能力的关系中起到调节作用。

文化背景可能影响精细动作技能与数学能力的关系。教育是人类社会的重要现象，与人类的发展共始终。在漫长的历史发展过程中，在不同的地域及不同的文化背景下，也造就了不同的教育。文化维度理论构建了衡量不同国家文化差异的框架，这些维度共同描绘了根深蒂固的社会文化对其自身成员价值观的影响，其中最典型的就是“长期取向与短期取向”这一维度(Long-Term Versus Short-Term)。长期取向的文化注重未来，短期取向的文化重视当下(韦林华, 2012)。研究表明，东方国家以长期取向导向为主，西方国家以短期取向导向为主(赵芷愔, 2022)。在以长期取向导向为主的东方国家里，注重儿童的学业成就，投入大量时间和金钱，让儿童参加各种特长培训班(例如绘画班、艺术班和计算班)，培养符合未来人才标准的子女，以此规避未来的不确定性 (刘君红, 许文丽, 2020)。相较于西方，处于东方文化背景下的儿童可能花更多的时间来训练精细动作技能(绘画班和艺术班)和提高数学学业成绩(计算班)。因此，在东方文化背景下，儿童能利用这一机会或优势来更好的发展精细动作技能或数学能力，以此增强两者的相关关系。此外，筷子的使用技能是东方各国具有文化特色、

较为典型的精细动作技能(董奇, 陶沙, 2004)，儿童利用日常生活中的进餐环节来练习使用筷子，充分锻炼精细动作，能够在一定程度上支持儿童数学能力的发展。综上，本研究提出假设 4：文化背景能够在精细动作技能与数学能力的关系中起到调节作用。

精细动作技能测量工具类型可能影响精细动作技能与数学能力的关系。如前所述，精细动作技能的结构划分不统一，且未将各核心成分(生活技能和书写技能)从整体中分离开来，这也造成测量工具的多元化。不同测量工具的结构划分、测量项目及难易程度、计分方法等均存在差别，可能影响精细动作技能与数学能力的关联程度。有研究者认为，不同的测量工具会影响两个变量之间关系的强度(丁凤琴, 陆朝晖, 2016; Eisenberg & Miller 1987)。故本研究提出假设 5：不同精细动作技能测量工具能够在精细动作技能与数学能力的关系中起到调节作用。

2　研究方法

2.1　文献检索

全面搜索有关精细动作技能与数学能力关系的研究，在中国知网、万方、维普三个中文数据库和 Web of Science、SCI 数据库、Google 学术三个英文数据库检索文献。在中文文献的检索中，精细动作技能的检索词为“精细动作技能”或“手指灵活性”或“动作技能”或“视觉空间整合”或“视觉运动协调”。数学能力的检索词为“数学能力”或“计算技能”或“计数能力”或“算术技能”或“数字技能”或“手指计数”或“具身数字”或“数学成绩”或“学业成绩”。在英文文献的检索中，精细动作技能的检索词为“fine motor skills”或“finger dexterity”或“motor skills”或“visual-spatial integration”或“visual-motor coordination”。数学能力的检索词为“mathematical ability” 或“calculation skills” 或“counting ability”或“arithmetic skills”或“numerical skills”或“finger-counting” 或“embodied numerosity”或“math achievement”或“school achievement”。对于已经搜索到但无法获取全文的文献，则通过其他途径获得。文献筛选流程图见图 1。

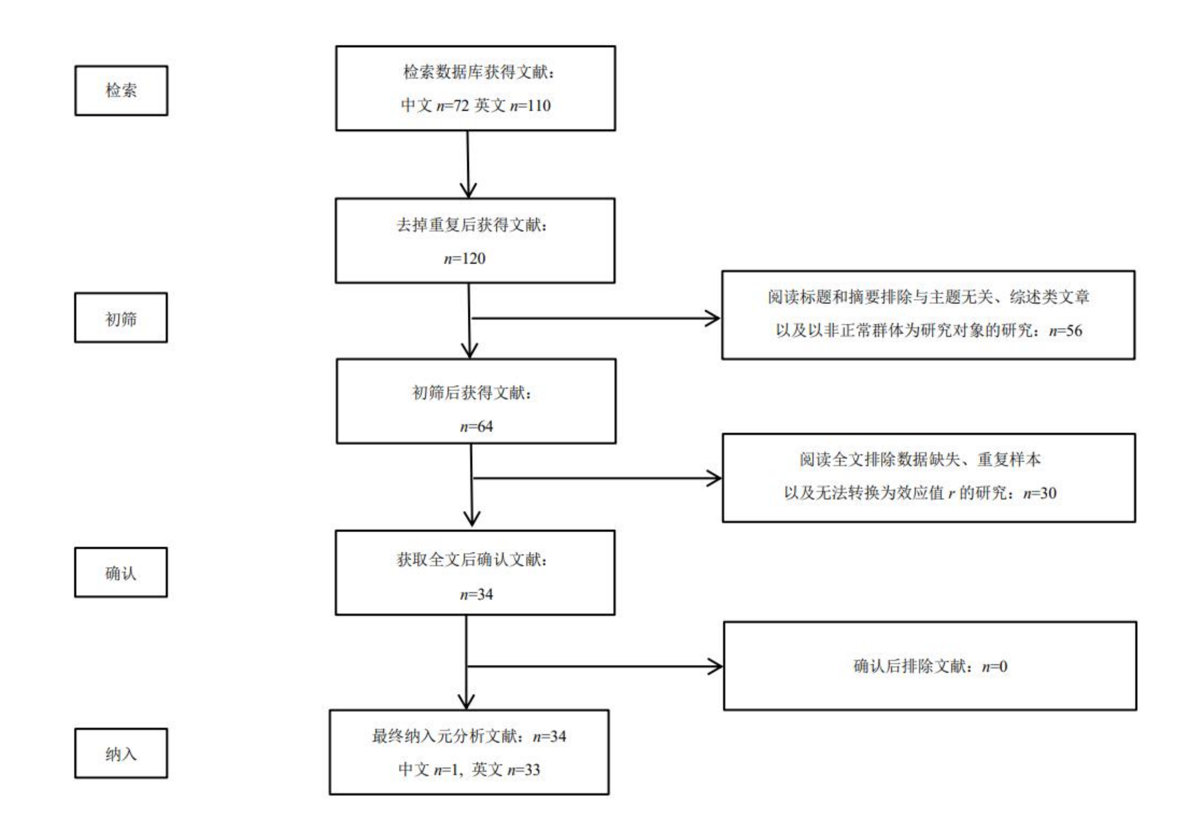


图 1　元分析文献筛选流程

2.2　文献纳入标准与排除标准

对于检索到的相关研究，主要按照以下标准进行筛选，考虑是否纳入元分析：(1)必须是测量了关于精细动作技能和数学能力关系的实证研究，排除纯理论和文献综述类文章; (2)必须介绍精细动作技能和数学能力的测量工具; (3)研究中报告了至少一个精细动作技能的核心成分(生活技能或书写技能)与数学能力之间的相关系数或其他可以转化为效应量的指标; (4)研究对象为正常群体，特殊群体的相关研究被排除在外; (5)数据重复发表的仅取其一; (6)文献中详细报告了精细动作技能与数学能力之间的 r 值或能够转化为 r 值的 F 值、t 值、χ^2 或回归系数β。最终，得到符合上述标准的文献 34 篇，共 42 项独立效应量。

2.3　文献编码

通过上述标准的筛选，对最终纳入元分析的文献进行如下编码：(1)文献基本信息(作者名、发表时间); (2)总样本量; (3)被试年龄; (4)男女比例; (5)文化背景; (6)精细动作技能测量工具; (7)相关系数。具体信息见表 3。

编码时遵循以下原则：(1)针对原始文献中的每一个独立样本，得到一个效应量。若是多个独立样本，则分开进行编码。(2)若是报告了精细动作技能的各结构的相关系数或报告

了精细动作技能多项任务的测量的相关系数，则根据各结构的相关系数或多项任务的相关系数取均值处理(王海花 等, 2022；Yeniad et.al, 2013)。 (3)若为追踪研究,则按首次测量结果进行编码(张亚利 等, 2021)。

本元分析的编码工作由两位编码者完成，编码者一致性为 92%，该结果说明本研究的文献编码较为有效和准确。此外，对于两位编码者不一致的研究也一同进行讨论，最终达成一致。最后，纳入元分析的文献共 34 篇，共计 42 个独立效应量(表 3)。

表 3 纳入元分析的原始研究

作者（发表时间）	样本量	发展阶段	男性比	文化背景	测量工具	相关系数
李蓓蕾，2003	60	学龄期	无	东方文化	其他工具	−0.18
Dinehart，2013	3234	学前期和学龄期	0.47	西方文化	LAP-D	0.27
Fischer，2017	177	学前期	0.49	西方文化	其他工具	0.39
Suggate, 2017	81	学前期	无	西方文化	其他工具	0.73
Fischer, 2020	80	学前期	0.50	西方文化	MABC-2	0.01
Penner-Wilger，2007	146	学前期和学龄期	0.51	西方文化	其他工具	0.11
Asakawa，2014	33	学前期	0.55	东方文化	其他工具	0.34
Cameron，2012	213	学前期	无	西方文化	ESI-R	0.17
Gashaj，2019	151	学前期	0.46	西方文化	MABC-2	0.29
Pitchford，2016a	62	学前期	0.47	西方文化	BOT-2	0.58
Pitchford，2016b	34	学前期	0.50	西方文化	BOT-2	0.41
Son，2006	12583	学前期	0.50	西方文化	ESI-R	0.44
Pagani，2010	1145	学前期和学龄期	0.47	西方文化	其他工具	0.34
Jordan，2019	34491	学前期和学龄期	无	西方文化	LAP-D	0.34
Malone，2022	569	学前期	0.48	西方文化	MABC-2	−0.18
Macdonald，2020	55	学龄期	0.45	西方文化	BOT-2	0.46
Oberer，2018	134	学前期和学龄期	0.49	西方文化	MABC-2	0.31
Sortor，2003	155	学龄期	无	西方文化	Beery VMI	0.27
Simms，2016	77	学龄期	0.52	西方文化	Beery VMI	0.41
Sulik，2018	343	学龄期	0.51	西方文化	其他工具	0.44
Michel，2020	173	学前期和学龄期	0.57	西方文化	MABC-2	0.28
Zhang L, 2018a	1623	学前期	无	东方文化	EAP-ECDS	0.28
Zhang L, 2018b	1198	学前期	无	东方文化	EAP-ECDS	0.37
Zhang L, 2018c	1232	学前期	无	东方文化	EAP-ECDS	0.38
Zhang L, 2018d	1185	学前期	无	东方文化	EAP-ECDS	0.34
Fischer，2022	153	学前期	0.52	西方文化	MABC-2	0.14
Gandhi，2012	415	学前期和学龄期	无	东方文化	其他工具	0.45
Grissmer，2010a	7830	学前期	无	西方文化	ESI-R	0.19
Grissmer，2010b	5462	婴儿期和学前期	无	西方文化	其他工具	0.10
Grissmer，2010c	1753	学前期	无	西方文化	其他工具	0.27

作者（发表时间）	样本量	发展阶段	男性比	文化背景	测量工具	相关系数
Haapala，2014a	174	学龄期	无	西方文化	BBT	0.19
Haapala，2014b	174	学龄期	无	西方文化	BBT	0.23
Haapala，2014c	167	学龄期	无	西方文化	BBT	0.14
Kurdek，2001	281	学前期和学龄期	0.47	西方文化	其他工具	0.21
Manfra，2017	1442	学前期和学龄期	0.48	西方文化	LAP-D	0.30
Roebers，2014	116	学前期和学龄期	无	西方文化	MABC-2	0.25
Verdine，2014	44	学前期	0.50	西方文化	Beery VMI	0.67
Becker，2014	127	学前期	无	西方文化	Beery VMI	0.59
Cadoret，2018	152	学龄期	0.45	西方文化	BOT-2	0.21
Dunn，2006	238	学前期	0.53	东方文化	Beery VMI	0.44
Morales，2011	243	学龄期	无	西方文化	其他工具	−0.73
Pagani，2012	522	学前期	无	西方文化	其他工具	0.29

注：(1)测量工具为精细动作技能测量工具。LAP-D=学习成就档案诊断量表；ESI-R=早期筛查量表；BOT-2=布尼氏动作熟练度测试；Beery VMI=Beery 视动整合测验；MABC-2=儿童动作测量量表的修订版；EAP-ECDS=东亚-太平洋早期儿童发展量表；BBT=盒块测试；其他工具=自编工具或借鉴他人工具。(2)考虑篇幅较长，表中只列出第一作者。(3)作者（发表时间）后标注 a，b，c，d 代表同一文献的不同研究；(4)表中所列的相关系数为零阶相关系数。

2.4 元分析过程

2.4.1 效应量计算

本研究采用 CMA 3.0(comprehensive meta analysis 3.0)进行数据处理与分析。本研究采用相关系数作为效应量来探讨精细动作技能与数学能力之间的关系。一般认为，$r \le 0.1$ 被认为是效应量较小，$r = 0.25$ 被认为是中等效应量，$r \ge 0.4$ 被认为是效应量较大(Cohen, 1988)。数据分析主要包括元分析的异质性检验、出版偏倚检验、主效应检验以及调节效应检验，其中调节变量为类别变量，因此采用亚组分析。进行亚组分析时，为了保证调节变量每个水平下的研究均能代表该水平，每个水平下的效应量应不低于 3 个(张亚利 等, 2021)。

本研究选取相关系数 r 作为效应量，在某些研究中并未直接报告精细动作技能与数学能力之间的相关系数，而是报告了 F 值、t 值、 χ^2 或回归系数β值，本研究采用 Borenstein 等人(2010)的相关公式将其转化成 r 值，具体转化公式为：$r = [F/(F + df)]^{1/2}$, $df = n_1 + n_2 - 2$; $r = [t^2/(t^2 + df)]^{1/2}$, $df = n_1 + n_2 - 2$; $r = [\chi^2/(\chi^2 + N)]^{1/2}$；$r = 0.98\beta + 0.05$ ($\beta \ge 0$), $r = 0.98\beta$ ($\beta < 0$), 再将 r 值转换为 Fisher's Z 值后进行数据分析(Borenstein et al., 2010)。

2.4.2　模型选定与异质性检验

目前元分析主要有固定效应模型(Fixed effect model)和随机效应模型(Random effect model)(张亚利　等，2019)。固定效应模型假定所有研究的真实效应量相同，研究结果间的差别由随机误差导致；随机效应模型认为不同研究的真实效应量可以不同，除受随机误差外，还受研究群体和研究工具的不同而有所不同(Borenstein et al., 2010)。本研究通过文献梳理发现，精细动作技能与数学能力之间的关系可能受到被试儿童年龄、性别、文化背景和精细动作技能测量工具因素的影响。因此，本研究选取随机效应模型更加科学和合理。

2.4.3　出版偏倚

出版偏倚(Publication bias)意味着发表的研究文献不能系统全面地代表该领域已经完成的研究总体(孙腾巍　等, 2021)。出版偏倚会影响元分析的可靠性，因此本研究采用漏斗图(Funnel plot)、失安全系数(Classic Fail-safe *N*)和 Egger's 回归系数来评估出版偏倚。

3　研究结果

3.1　异质性检验

本研究纳入元分析的文献 34 篇，共 42 个独立效应量。其中，英文文献 33 篇，中文文献 1 篇，有关文献的具体信息见表 3。本研究采用随机效应模型，运用 CMA 3.0 软件进行异质性检验。表 4 结果显示，Q 值为 1416.72($p < 0.001$)，这说明本研究的各项效应量存在异质性。其中，*I-squared* 值为 97.11，说明由效应值的真实差异造成的变异量占总变异的 97.11%(Borenstein et al., 2010) 。*Tau-squared* 值为 0.023, 说明研究间的变异有 2.3%可用于计算权重。

3.2　出版偏倚检验

参考以往研究，本研究选择漏斗图、失安全系数和 Egger's 回归系数来评估出版偏倚。从漏斗图(图 2)可以看出，研究基本上集中在漏斗图上方，处于漏斗图下方的研究较少。研究均匀分布在漏斗图两侧，基本上呈对称分布，这表明元分析存在出版偏倚的可能性较小。

因漏斗图的评判存在一定的主观性，因此采用失安全系数和 Egger's 回归系数来检验出版偏倚。本研究计算失安全系数，定量估计 $p = 0.05$ 时的出版偏倚水平。参考 Rothstein 等人(2006)的研究，采用 5K+10(K 表示研究数)作为临界值进行判断(Rothstein et al., 2006; 王海花　等, 2022)。结果显示，失安全系数大于临界值(表 4)，即表明本元分析不存在出版偏倚。Egger's 回归系数结果显示, *Intercept* 为−1.37(CI = −3.72 ~0.99, p > 0.05)， p 值不显著，即表

明不存在出版偏倚。

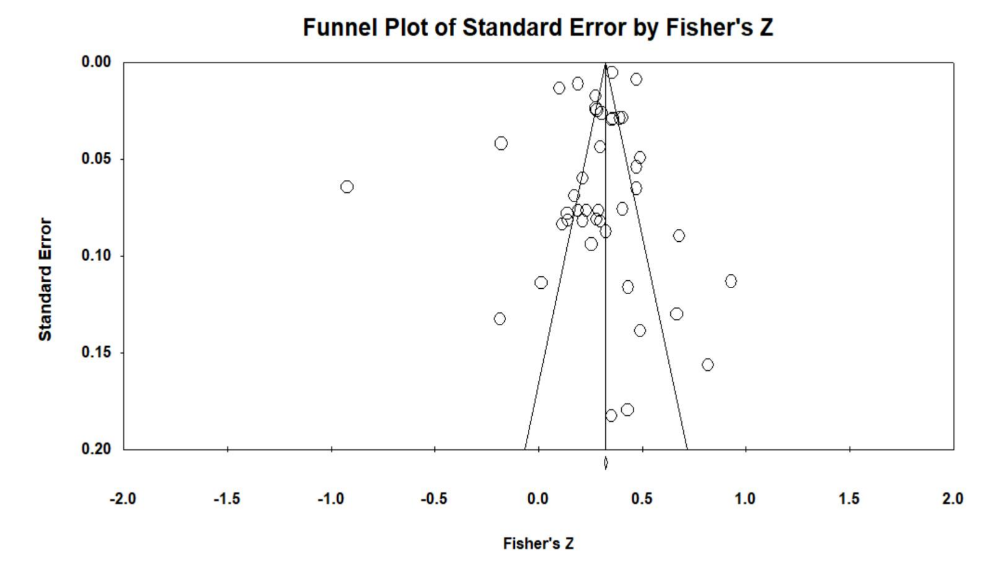


图 2 精细动作技能与数学能力效应值分布漏斗图

3.3 主效应检验

本元分析包含 34 项研究和 42 个独立效应量，合计 78527 名被试。本研究通过 CMA3.0 进行随机效应模型分析，结果显示精细动作技能与数学能力的相关系数为 0.273 (CI = 0.23~0.32, Z = 10.74, p < 0.001)，说明精细动作技能与数学能力之间呈中等强度的正相关。具体结果见表 4。

表 4 精细动作技能与数学能力关系随机模型分析

模型	K	N	r	95%CI	Z-value	Q_B	I^2	τ^2	Fail-safe n
随机效应	42	78527	0.273	0.23，0.32	10.74***	1416.72***	97.11%	0.02	29524

注：K 代表独立效应量的数量；N 为样本量；95%CI 为亚组效果量 r 的 95%的置信区间；Q_B 代表异质性检验统计量；***p ＜ 0. 001。

3.4 调节效应检验

本研究考察了儿童年龄、性别、文化背景和精细动作技能测量工具对两者关系的调节作用，具体结果见表 5。调节效应结果表明，(1)儿童年龄未能显著调节精细动作技能与数学能力的关系，亚组分析结果不显著。(2)性别对精细动作技能与数学能力的调节作用不显著。元回归分析结果表明，男性比例对效应值的回归系数不显著(b = 0.45, 95%CI [−2.21, 3.11])。(3)文化背景能够显著调节精细动作技能与数学能力的关系，亚组分析结果显示，东方文化背景下儿童的精细动作技能与数学能力的相关系数更高。(4)精细动作技能测量工具能够显

著调节精细动作技能与数学能力的关系，亚组分析结果显示，使用 Beery VMI 测量的相关系数最高，而使用 MABC-2 测量的相关系数最低。

表 5 亚组分析结果

调节变量	类别	*k*	*n*	*r*	*95%CI*	*Qb (df)*	*p*
儿童年龄	学前期	21	29888	0.340	0.27，0.41	1.90（1）	0.168
	学龄期	10	1600	0.131	−0.17，0.41		
文化背景	东方文化	8	5984	0.346	0.28，0.41	4.03（1）	0.045
	西方文化	34	72543	0.260	0.20，0.32		
测量工具	BBT	3	515	0.185	0.10，0.27	21.55（7）	0.003
	BOT-2	4	303	0.411	0.21，0.58		
	Beery VMI	5	641	0.474	0.34，0.59		
	EAP-ECDS	4	5238	0.343	0.29，0.39		
	ESI-R	3	20626	0.274	0.05，0.47		
	LAP-D	3	39167	0.303	0.25，0.35		
	MABC-2	7	1376	0.158	−0.03，0.33		
	其他量表	13	10661	0.217	0.07，0.35		

4 讨论

4.1 精细动作技能与数学能力之间的关系

本研究对国内外近 30 年来的精细动作技能与数学能力关系的实证研究进行元分析，共纳入 34 项研究，42 个独立效应量，78527 名被试。元分析结果显示，精细动作技能与数学能力之间存在显著正相关($r = 0.273$，$p < 0.001$)，这表明精细动作技能与数学能力之间存在密切的联系，假设 1 得到支持。该结果与以往研究一致(Pitchford et al., 2016; Suggate et al., 2017; Oberer et al., 2018)，支持了具身认知理论和认知负荷理论的观点，未支持不相关或负相关研究结果(Haapala et al., 2014; Van Niekerk et al., 2015; Morales et al., 2011; Malone et al., 2022)。

本研究支持了具身认知理论的观点(Lakoff & Núñez, 2000)，表明精细动作技能与数学能力存在正相关关系。这一研究结果增强了该理论对精细动作技能与数学能力关系的解释力度。具体而言，一方面，精细动作水平较高的儿童往往能够通过手指动作发展手指表征数量的能

力，如儿童伸出大拇指和食指表征两个苹果、两个贴纸或其他任何包含两个物体的集合，同时也能在没有具体实物的依托下表征数量 “2” (高健, 2010)。手指数量表征有助于儿童同化顺序固定原则和掌握一一对应原则(高健, 2010; 胡艳蓉 等, 2014)，是掌握数概念和算术运算的必经阶段。另一方面，由于精细动作水平更高的儿童能够更熟练且灵活地运用手指，可能较多运用手指计数。他们利用手指这一“天然的计算工具”，在计数与实物之间建立联系，从而掌握计数的基本原则，以此推动数学能力的发展。因此，精细动作发展水平更高的儿童会更积极地运用手指学习数学，进行手指数量表征或手指计数，从指尖上获得数学智慧。

本研究也支持了认知负荷理论的观点(Kirsh & Maglio, 1994)。本研究发现，学龄儿童精细动作技能与数学能力的关联程度低于学前儿童，这是因为到了学龄期，儿童运用手指进行数量表征的模式已经内化和自动化，对具体的动作依赖的程度降低。精细动作的自动化有助于儿童释放一部分执行功能资源，专注于更复杂的数学学习任务(Cameron et al., 2015; Kim et al., 2018)。例如，进入小学的儿童如果已经学会书写，那么他们就会把更多的注意力聚焦于诸如算术和推理这样较复杂的数学学习中。可以说，儿童在与书写相关的任务中获得自动性的程度可能决定了其能够专注于其他学习目标的认知能力的数量(Medwell et al., 2007)。相反，那些很难拿起铅笔以及书写时必须注意特定动作或动作不够协调的儿童，在认知任务方面将无法取得较快的进步(Cameron et al., 2012)。那些描摹或复制(图形)能力强的儿童比描摹或复制(图形)能力弱的儿童能够更快地学习数学，完成基本的课堂任务(Cameron et al., 2012)。总之，该结果表明精细动作技能发展水平较高的儿童，所具备数学学习与发展的优势是客观存在的。同时，也为诊断、干预数学学习困难儿童提供了新思路和新证据。

4.2 精细动作技能与数学能力关系的调节变量

4.2.1 儿童年龄

元分析结果表明，儿童年龄对精细动作技能与数学能力关系的调节不显著，假设 2 未得到支持，这说明两者的关系不随年龄变化而改变，可能的原因在于动作技能和认知技能有一个相似的发展时间表，即在 5 岁和 10 岁之间加速发展(Anderson et al., 2001)。本研究纳入的学龄儿童的年龄均在 10 岁以下，只有个别研究的学龄儿童超过 10 岁。虽然研究表明，学龄儿童已经不再依赖于精细动作技能来解决数学问题，而是开始学会运用心算策略、言语策略或图式策略来解决数学问题(Chan et al., 2021)。但是，这一时期的儿童表现出手指运用的减少不一定意味着动作的退化，因为动作和数学的发展均呈现加速发展的趋势。因此，精细动作技能与数学能力的关联并不会因年龄而产生显著差别。

4.2.2　性别

元分析结果表明，性别对精细动作技能与数学能力关系的调节不显著，假设 3 未得到支持，这可能表明精细动作技能与数学能力的关系可能存在跨性别的稳定性，即高水平的精细动作伴随着高水平数学能力普遍存在于不同的性别群体间，元分析结果不支持性别符号图式的观点。随着时代的发展，现代教育提倡双性化教育，即个体在保留自身性别优秀和鲜明特质的情况下，吸收异性身上优秀的性别特质，完善自身的人格特质(张晗, 2010)。一项对幼儿区域游戏的性别差异研究表明，男孩不仅偏爱传统认为的男性游戏区(如建构区)，也喜欢女性游戏区(如娃娃家)(陈月娟, 2017)。此外，研究表明女孩也喜欢建构区(Varma, 1980; 陈月娟, 2017)。可见，男孩和女孩均具备较多的机会来发展精细动作，这在一定程度上能够弥补男孩在先天的触觉阈限不如女孩的不足。因此，精细动作技能与数学能力的关联并没有因性别而产生显著差别。

4.2.3　文化背景

元分析结果表明，文化背景能对精细动作技能与数学能力的关系产生调节作用，假设 4 得到支持，东方文化背景下的儿童的精细动作技能与数学能力的效应值更高。首先，这一结果支持了文化维度理论中的“长期与短期取向”的观点。如黄河清(2003)通过对中美家庭教育的跨文化比较发现，与美国的家庭教育(西方文化背景下)相比，中国的家庭教育(东方文化背景下)更重视智育和美育，其主要体现在学前期和学龄期两个重要的阶段。在学前期，中国家长更倾于向儿童传授知识、技能，如为孩子购置各种知识性、趣味性的读物，训练儿童朗读、书写和计算等技能；而学龄期，中国家庭教育出现学校化倾向，家长督促儿童学习，按时完成作业，实行题海战，应付考试；此外，无论是在学前期还是学龄期，中国家长均表现出耗费大量金钱让儿童上培训班，如绘画班和钢琴班等(黄河清, 2003)。以长期取向为导向的东方文化背景下的教育特点之一是“更强调长期努力，通过积极改变自我，以适应社会变化”（康健秋， 禹娜， 2021），故家长在教育方面可能更注重为儿童的未来生活做准备，让儿童更加务实和努力，以便更好地面对和迎接未来生活的种种困难与挑战，这种“忙碌”让儿童具备更多的精细动作技能训练的机会。第二，筷子是许多东亚和东南亚人使用的主要餐具，握筷技能能够充分锻炼手部精细动作。研究表明，亚裔儿童的手部灵活性较欧美儿童高，可能归因于亚洲文化生活环境中的手部操作实践活动差异影响儿童精细动作的发育水平(魏庄 等，2022)。筷子的使用作为东方国家进餐环节的必要过程，是发展儿童精细动作技能的有力工具，能够更好的支持儿童的数学学习。第三，研究表明，文化差异不仅影响东西方学

生的数学学习，也影响数学成绩(周士民, 王君, 2014)。具体而言，东方文化提倡刻苦学习，西方文化提倡快乐学习，东方文化背景下的儿童学习更刻苦，数学成绩更优秀(Zhu & Leung, 2011)。因为儿童在学习数字、数量关系、排列和运算等这些过程中，可能需要借助手指等精细动作来完成。这意味着在东方文化背景下，儿童在努力学习数学的过程中，不仅数学能力得到提升，精细动作也得到更为充分的发展。因此，文化背景能对精细动作技能与数学能力的关系产生调节作用。

4.2.4　精细动作技能的测量工具

元分析结果表明，精细动作技能测量工具能对精细动作技能与数学能力的关系产生调节作用，假设 5 得到支持。这一调节效应可能与精细动作技能的结构并未统一以及两个核心成分并未区分开来有关。本元分析纳入的文献对精细动作技能的结构划分有所差异。例如 Dinehart 和 Manfra (2013)把精细动作技能分为精细动作操作和精细动作书写；Pitchford 等人(2016)把精细动作技能分为精细动作整合和精细动作精度；Carlson 等人(2013)和 Sortor 等人(2003)把精细动作技能分为视觉空间整合和视觉运动协调等。这些不同结构的划分也导致了考察的重点及测量有所差异。虽然这些不同结构的划分均包含了生活技能和书写技能两个核心成分或其中一个核心成分，但部分研究在考察了两个核心成分的情况下，只报告了整体相关系数(Gashaj t al., 2019; Michel et al., 2020)，这可能在无形之中影响了精细动作技能与数学能力之间的关系。值得注意的是，Martzog 等人(2019)认为，生活技能和书写技能是精细动作技能的重要组成部分，但手指速度也是精细动作技能必不可缺的成分。因此，作用于数学能力的应该是多个成分的精细动作技能的共同作用。而本元分析纳入的研究关于精细动作技能的成分有所欠缺或存在相互融合的情况，在某种程度上可能影响了测量工具的选择与使用，从而产生了调节效应。

研究结果发现，使用 MABC-2 量表测得的相关系数最低，这可能是因为该量表设计的项目较为宽泛，不仅包括成套的运动测试(如精细动作、粗大动作和平衡)，还包括主观评定量表。虽然该量表在全世界范围已经得到广泛使用，量表的各项效度也较为良好(吴升扣，姜桂萍，2014)，但这些信度和效度研究的全面性、质量和严密性是可变的(Brown & Lalor, 2009)。例如，主观评定量表既没有报告内部一致性、重测信度等可靠性信息，也没有报告结构效度(Brown & Lalor, 2009)。该量表的最初目的是识别和描述 3~17 岁儿童的运动表现障碍((Brown & Lalor, 2009)，重点是识别有运动技能障碍的儿童，例如注意缺陷多动障碍(ADHD)(Harvey & Reid, 2003)、自闭症谱系障碍(ASD)(Green et al., 2002)、语言障碍(Hill,

2001)以及认知障碍或学习困难(Jongmans et al., 2003)等。MABC-2 量表可能对筛选有运动表现障碍的儿童更适用，而用于测量正常儿童精细动作技能的效应值较低，这也提示了未来的研究使用该工具时需要谨慎对待。

Beery VMI 测量的精细动作技能与数学能力的相关系数最高。该量表是对参与者视觉空间整合和视觉运动协调的一种衡量，参与者完成这些任务的时候需要将视觉和动觉信息进行有效整合(张重阳, 2021)。该量表包含一个整体的视觉空间整合测试以及两个补充测试，即视觉感知和运动协调。视觉空间整合要求儿童复制各种几何图形，从单线和二维图形到三维图形和组合图形；视觉运动协调补充测试要求儿童描摹各种几何图形。这些任务只需要精细的肌肉控制，不需要在另一张纸上复制图像(Carlson et al., 2013)。Beery VMI 是目前应用最为广泛的视觉运动整合能力测验量表。已有研究表明，其两个子成分即视觉运动协调(生活技能和描摹)驱动了儿童早期的认知发展，而视觉空间整合(复制)驱动了儿童整个童年后期的认知发展(Carlson et al., 2013)。而且，从精细动作技能测量工具的应用来看，Beery VMI 的覆盖面较为广泛，其项目内容较为全面和完整，因此该工具测得的精细动作技能与数学能力的相关系数最高。

4.3 不足与展望

本研究的不足：(1)由于精细动作技能指标较为复杂，各个研究中对其结构的划分并未统一，且未将两个核心成分从整体中分离开来，本研究为保证最大程度分析精细动作技能对数学能力的影响，将精细动作技能作为一个整体来考察，无法考察精细动作技能的各不同组成成分与数学能力之间的关联程度。(2)进行亚组分析的调节变量的数量分布不均衡，以学前儿童为被试的研究比以学龄儿童为被试的研究更多，这可能会在一定程度上影响研究结果。(3)在元分析数据编码过程中，由于文化的多样性，测量工具不统一，有的研究采用的精细动作技能测量工具是自编或借鉴他人的工具，本元分析将这些不太统一的工具归为“其他工具”一类，这就难以挖掘和发现更合适的测量工具。未来研究可继续关注测量工具这一调节变量，以更好的阐释两者的关系。

5 结论

本研究采用元分析的方法发现，精细动作技能与数学能力存在中等程度的正相关；文化背景和精细动作技能测量工具能够显著调节精细动作技能与数学能力的关系；儿童年龄和性别未能显著调节精细动作技能与数学能力的关系。

参考文献

*表示元分析用到的文献。

陈月娟. (2017). *5-6 岁幼儿区域游戏中的性别差异研究*(硕士学位论文). 四川师范大学, 成都.

董奇, 陶沙. (编). (2004). *动作与心理发展* (修订版). 北京: 北京师范大学出版社.

杜文平. (2014). 小学生数学能力要素分析及评价研究述评. *课程教学研究, 2*(03), 27–32.

丁凤琴, 陆朝晖. (2016). 共情与亲社会行为关系的元分析. *心理科学进展, 24* (08), 1159–1174.

冯明, 叶泽川. (1996). 贝姆的性别图式理论及实验述评. *重庆教育学院学报, 9*(01), 32–36.

方莹. (2017). *基于入学书写准备的视动整合发展研究*(硕士学位论文). 浙江师范大学, 金华.

高健. (2010). 国外幼儿手指动作与数能力关系研究回顾与展望. *中国特殊教育, 17* (02), 69–73.

耿达, 张兴利, 施建农. (2015). 儿童早期精细动作技能与认知发展的关系. *心理科学进展, 23*(02), 261–267.

黄河清. (2003). 中美家庭教育的跨文化比较.*外国中小学教育. 21*(11), 10–15.

黄瑾, 田方. (编). (2015). *学前儿童数学学习与发展核心经验*. 南京: 南京师范大学出版社.

胡艳蓉, 张丽, 陈敏. (2014). 手指的感知、运动以及数量表征对数字认知的促进作用. *心理发展与教育, 30*(03), 329–336.

胡中锋. (2001). 中小学生数学能力结构研究述评. *课程.教材.教法, 21*(06), 45–48.

康丹. (2014). *对 5-6 岁数学学习困难儿童教育干预的研究*(博士学位论文). 华东师范大学, 上海.

康健秋, 禹娜. (2021). 霍夫斯泰德文化维度理论视角下的中国式教育观——基于《中国式家长》 游戏的分析. *教育与教学研究, 35*(11), 38–51.

*李蓓蕾, 林磊, 董奇, Claesvon Hofsten. (2003). 儿童筷子使用技能特性的发展及其与学业成绩的关系. *心理科学, 40* (01), 82–84.

林崇德. (2003). *学习与发展：中小学生心理能力发展与培养*. 北京: 北京师范大学出版社.

刘君红, 许文丽. (2020). 中美家庭教育跨文化比较研究. *教育评论, 36*(04), 158–163.

宁科, 王庭照, 王淑君, 胡碧升, 胡军, 李志诚. (2020). 儿童精细动作技能: 认识、筛查与发展. *青少年体育, 9*(06), 132–134.

全美数学教师理事会. (2014). *美国学校数学教育的原则和标准*(蔡金法译). 北京: 人民教育出版社.

曲方炳, 殷融, 钟元, 叶浩生. (2012). 语言理解中的动作知觉: 基于具身认知的视角. *心理科学进展, 20*(06), 834–842.

孙腾巍, 颜宇娴, 靳宇倡, 安俊秀. (2021). 基于正念的干预与自我同情的关系: 一项元分析. *心理科学进展, 29*(10), 1808–1828.

孙以泽. (2003). 数学能力的成分及其结构. *南京晓庄学院学报, 19*(02), 97–99.

王翠艳, 张凯. (2014). 手指与儿童数能力的关系——多视角的理论阐释及其验证. *淮北师范大学学报(哲学社会科学版), 36* (05), 170–173.

王海花, 李烨, 谭钦瀛. (2022). 基于 Meta 分析的数字化转型对企业绩效影响问题. *系统管理学报, 31*(01), 112–123.

吴升扣, 姜桂萍. (2014). 儿童早期动作发展测量的研究进展. *北京体育大学学报, 37* (04), 81–87.

吴卫东. (2011). 双性化视角的幼儿性别角色教育. *教育探索, 31*(06), 21–22.

韦林华. (2012). 基于文化维度理论的中美高校管理差异分析——以美国肯尼索州立大学为例. *高教论坛. 28*(05), 132–135.

魏庄, 刘春阳, 沈瑞云, 杨晨璐, 钱月, 黄鸿眉. (2022). 学龄前儿童早期发育阶段筷子使用动作发展的多中心研究. *中国儿童保健杂志. 30*(12), 1327–1331.

邢强. (2002). 性别形成和差异的社会认知理论述评. *南京师大学报(社会科学版), 48* (02), 96–103.

喻平. (2004). *数学教育心理学*. 广西: 广西教育出版社.

张重阳. (2021). *5-6 岁幼儿精细动作与前书写发展的关系研究*(硕士学位论文). 浙江师范大学, 金华.

张晗. (2010). 幼儿双性化发展的特点及教育策略研究. *早期教育(教师版), 28*(03), 13–16.

张亚利, 李森, 俞国良. (2019). 自尊与社交焦虑的关系: 基于中国学生群体的元分析. *心理科学进展, 27* (06), 1005–1018.

张亚利, 李森, 俞国良. (2021). 社交媒体使用与错失焦虑的关系: 一项元分析. *心理学报, 53* (03), 273–290.

周盼盼, 袁海泉. (2021). 基于认知负荷理论的初中物理线上课堂教学——以"运动的相对性"为例. *中学教学参考, 15*(32), 45–47.

周士民, 王君. (2014). 文化差异下东西方数学教育比较——梁贯成教育思想简介. *数学通报, 53*(11), 5–7.

赵芷愔. (2022). 基于文化维度理论下中西价值观对比研究——以《陈情令》和《权力的游戏》为例. *戏剧之家. 33*(29), 143–145.

Andres, M., Seron, X., & Olivier, E. (2007). Contribution of hand motor circuits to counting. *Journal of Cognitive Neuroscience, 19*(4), 563–576.

Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: A fundamental organizational principle of the brain. *Behavioral and Brain Sciences, 33*(4), 245–266.

Anderson, V. A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental*

Neuropsychology, *20*(1), 385‒406.

Asakawa, A., Murakami, T., & Sugimura, S. (2019). Effect of fine motor skills training on arithmetical ability in children. *Annals of the American Thoracic Society*, *16*(3), 1127‒1138.

*Asakawa, A., & Sugimura, S. (2014). Developmental trajectory in the relationship between calculation skill and finger dexterity: A longitudinal study. *Japanese Psychological Research*, *56*(2), 189‒200.

Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M. K., & Nurmi, J. E. (2004). Developmental dynamics of math performance from preschool to grade 2. *Journal of Educational Psychology, 96*(4), 699‒713.

Beery, K. E., & Beery, N. A. (2010). *The Beery-Buktenica developmental test of visual-motor integration (Beery VMI): Administration, scoring, and teaching manual* (6th ed.). Minneapolis, MN: NCS Pearson.

Berteletti, I., & Booth, J. R. (2015). Perceiving fingers in single-digit arithmetic problems. *Frontiers in Psychology*, *6*, 226.

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P., & Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Research Synthesis Methods, 1*(2), 97‒111.

Brown, T., & Lalor, A. (2009). The movement assessment battery for children (2nd ed.) (MABC-2): A review and critique. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics, 29*(1), 86‒103.

Bruininks, R. H., & Bruininks, B. D. (2005). *Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency* (2th ed.), Minneapolis, MN: NCS Pearson.

*Cameron, C. E., Brock, L. L., Murrah, W. M., Bell, L. H., Worzalla, S. L., Grissmer, D., & Morrison, F. J. (2012). Fine motor skills and executive function both contribute to kindergarten achievement. *Child Development, 83*(4), 1229‒1244.

Cameron, C. E., Brock, L. L., Hatfield, B. E., Cottone, E. A., Rubinstein, E., LoCasale-Crouch, J., & Grissmer, D. W. (2015). Visuomotor integration and inhibitory control compensate for each other in school readiness. *Developmental Psychology, 51*(11), 1529.

Cameron, C. E., Cottone, E. A., Murrah, W. M., & Grissmer, D. W. (2016). How are motor skills linked to children's school performance and academic achievement?. *Child Development Perspectives*, *10*(2), 93‒98.

Carlson, A. G., Rowe, E., & Curby, T. W. (2013). Disentangling fine motor skills' relations to academic achievement: The relative contributions of visual-spatial integration and visual-motor coordination. *The Journal of Genetic Psychology, 174*(5), 514‒533.

Chan, W. W. L., & Kwan, J. L. Y. (2021). Pathways to word problem solving: The mediating roles of schema

construction and mathematical vocabulary. *Contemporary Educational Psychology, 65*(3), 101963.

Cohen, S. (1988). Psychosocial models of the role of social support in the etiology of physical disease. *Health Psychology, 7*(3), 269─297.

Crollen, V., Seron, X., & Noël, M. P. (2011). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities?. *Frontiers in Psychology*, *2*, 242.

Davis, E. E., Pitchford, N. J., & Limback, E. (2011). The interrelation between cognitive and motor development in typically developing children aged 4~11 years is underpinned by visual processing and fine manual control. *British Journal of Psychology*, *102*(3), 569─584.

Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development, 71*(1), 44─56.

*Dinehart, L., & Manfra, L. (2013). Associations between low-income children's fine motor skills in preschool and academic performance in second grade. *Early Education & Development, 24*(2), 138─161.

Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. C. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, *116*(2), 251─266.

Eisenberg, N., & Miller, P. A. (1987). The relation of empathy to prosocial and related behaviors. *Psychological Bulletin, 101*(1), 91─119.

*Fischer, U., Suggate, S. P., & Stoeger, H. (2022). Fine motor skills and finger gnosia contribute to preschool children's numerical competencies. *Acta Psychologica, 226*, 103576.

*Gashaj, V., Oberer, N., Mast, F. W., & Roebers, C. M. (2019). Individual differences in basic numerical skills: The role of executive functions and motor skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, *182*(4), 187─195.

Gracia-Bafalluy, M., & Noël, M. P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance?. *Cortex*, *44*(4), 368─375.

Green, D., Baird, G., Barnett, A. L., Henderson, L., Huber, J., & Henderson, S. E. (2002). The severity and nature of motor impairment in Asperger's syndrome: A comparison with specific developmental disorder of motor function. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 43*(5), 655─668.

Ginsburg, H. P., Baroody, A. J. (2003). *Test of early mathematics ability* (3rd ed.). Austin, Texas: Pro Ed.

*Haapala, E. A., Poikkeus, A. M., Tompuri, T., Kukkonen-Harjula, K., Leppänen, P. T., Lindi, V., & Lakka, T. A. (2014). Associations of motor and cardiovascular performance with academic skills in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 46*(5), 1016─1024.

Harvey, W. J., & Reid, G. (2003). A review of fundamental movement skill performance and physical fitness of children with ADHD. *Adapted Physical Activity Quarterly, 20*, 1─25.

Hill, E. L. (2001). Non-specific nature of specific language impairment: A review of the literature with regard to concomitant motor impairments. *International Journal of Language & Communication Disorders, 36*(2), 149–171.

Jongmans, M. J., Smits-Engelsman, B. C., & Schoemaker, M. M. (2003). Consequences of comorbidity of developmental coordination disorders and learning disabilities for severity and pattern of perceptual-motor dysfunction. *Journal of Learning Disabilities, 36*(6), 528–537.

Krauthausen, G., & Scherer, P. (2001). *Einführung in die mathematikdi-daktik [Introduction to didactics of mathematics]*. Heidelberg, Baden-Württemberg: Spektrum.

Klupp, S., Möhring, W., Lemola, S., & Grob, A. (2021). Relations between fine motor skills and intelligence in typically developing children and children with attention deficit hyperactivity disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *110*(1), 115–128.

Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive Science, 18*(4), 513–549.

Kim, H., Duran, C. A., Cameron, C. E., & Grissmer, D. (2018). Developmental relations among motor and cognitive processes and mathematics skills. *Child Development, 89*(2), 476–494.

Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics come from*(Vol. 6). New York, NY: Basic Books.

Madden, J. (2001). Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being. *Notices of the AMS*, *48*(10), 1182–1188.

Mather, N. (2001). *Examiner's manual: Woodcock-Johnson III tests of achievement*. Itasca, IL: Riverside Publishing.

Martzog, P. (2015). *Feinmotorische fertigkeiten und kognitive fähigkeiten bei kindern im vorschulalter*. Baden-Baden, Baden-Württemberg: Tectum Wissenschaftsverlag.

Martzog, P., Stoeger, H., & Suggate, S. (2019). Relations between preschool children's fine motor skills and general cognitive abilities. *Journal of Cognition and Development, 20*(4), 443–465.

*Malone, S. A., Pritchard, V. E., & Hulme, C. (2022). Domain-specific skills, but not fine-motor or executive function, predict later arithmetic and reading in children. *Learning and Individual Differences, 95*, 102141.

Mathiowetz, V., Volland, G., Kashman, N., & Weber, K. (1985). Adult norms for the box and block test of manual dexterity. *The American Journal of Occupational Therapy, 39*(6), 386–391.

Meisels, S. J., Marsden, D. B., Wiske, M. S., & Henderson, L. W. (1997). The *early screening inventory-revised(ESI-R)*. New York, NY: Pearson Early Learning.

Medwell J, & Strand S. Wray. (2007). The role of handwriting in composing for Y2 children. *Journal of Reading, Writing and Literacy, 2*(1), 11—21.

*Michel, E., Molitor, S., & Schneider, W. (2020). Executive functions and fine motor skills in kindergarten as predictors of arithmetic skills in elementary school. *Developmental Neuropsychology*, *45*(6), 367—379.

Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., Engel, J., & Nuerk, H. C. (2011). Effects of finger counting on numerical development-the opposing views of neurocognition and mathematics education. *Frontiers in Psychology*, *2*, 328.

*Morales, J., Gonzalez, L. M., Guerra, M., Virgili, C., & Unnithan, V. (2011). Physical activity, perceptual-motor performance, and academic learning in 9-to-16-years-old school children. *International Journal of Sport Psychology, 42*(4), 401—415.

Nehring, A. D., Nehring, E. F., Bruni, J. R., & Randolph, P. L. (1992). *Learning accomplishment profile-diagnostic standardized assessment*. Lewisville, NC: Kaplan Press.

*Oberer, N., Gashaj, V., & Roebers, C. M. (2018). Executive functions, visual-motor coordination, physical fitness and academic achievement: Longitudinal relations in typically developing children. *Human Movement Science, 58*(4), 69—79.

*Pagani, L. S., Fitzpatrick, C., Archambault, I., & Janosz, M. (2010). School readiness and later achievement: A French Canadian replication and extension. *Developmental Psychology, 46*(5), 984—994.

Petermann, F. (2009). *Movement assessment battery for children-2 (M-ABC-2)* (2nd ed., German adaption.). Frankfurt, Hessian: Pearson Assessment.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant [the psychology of the child]*. Paris: Presses Universitaires de France.

*Pitchford, N. J., Papini, C., Outhwaite, L. A., & Gulliford, A. (2016). Fine motor skills predict maths ability better than they predict reading ability in the early primary school years. *Frontiers in Psychology*, *7*, 783.

Rao, N., Sun, J., Ng, M., Becher, Y., Lee, D., Ip, P., & Bacon-Shone, J. (2014). *Validation, finalization and adoption of the East Asia-Pacific early child development scales (EAP-ECDS)*. Bangkok, Thailand: UNICEF, East and Pacific Regional Office.

*Roebers, C. M., Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E., & Jäger, K. (2014). The relation between cognitive and motor performance and their relevance for children's transition to school: A latent variable approach. *Human Movement Science*, *33*(7), 284—297.

Rothstein, H. R., Sutton, A. J., & Borenstein, M. (2006). *Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment*

and adjustments. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

Schmitt, S. A., Geldhof, G. J., Purpura, D. J., Duncan, R., & McClelland, M. M. (2017). Examining the relations between executive function, math, and literacy during the transition to kindergarten: A multi-analytic approach. *Journal of Educational Psychology, 109*(8), 1120.

*Sortor, J. M. , & Kulp, M. T. . (2003). Are the results of the beery-buktenica developmental test of visual-motor integration and its subtests related to achievement test scores?. *Optometry and Vision Science, 80*(11), 758–763.

*Suggate, S., Stoeger, H., & Fischer, U. (2017). Finger-based numerical skills link fine motor skills to numerical development in preschoolers. *Perceptual and Motor Skills, 124*(6), 1085–1106.

Tschentscher, N., Hauk, O., Fischer, M. H., & Pulvermüller, F. (2012). You can count on the motor cortex: Finger counting habits modulate motor cortex activation evoked by numbers. *Neuroimage, 59*(4), 3139–3148.

Van Niekerk, L., Du Toit, D., & Pienaar, A. E. (2015). The relationship between motor proficiency and academic performance of adolescent learners in Potchefstroom, South Africa: The PAHL study. *African Journal for Physical Health Education, Recreation and Dance, 21*(2), 1321–1336.

Varma, M. (1980). Sex-stereotyping in block play of preschool children. *Indian Educational Review*, *32*, 37.

Van de Rijt, B. A. M., & Van Luit, J. E. H. (1998). Effectiveness of the additional early mathematics program for teaching children early mathematics. *Instructional Science*, *26*, 337–358.

Wechsler, D. (2005). *Wechsler individual achievement test* (2nd ed.). London, UK: Psychological Corporation.

Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., Van IJzendoorn, M. H., & Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning and Individual Differences*, *23*(2), 1–9.

Zhu, Y., & Leung, F. K. (2011). Motivation and achievement: Is there an East Asian model?. *International Journal of Science and Mathematics Education, 9*(5), 1189–1212.

The relationship between fine motor skills and mathematical ability in children: a meta-analysis

KANG Dan, WEN Min, ZHANG Yingjie

(School of Educational Science, Hunan Normal University; Cognition and Human Behavior Key Laboratory of Hunan Province, Changsha 410081, China)

Abstract: The relationship between children's fine motor skills and mathematical ability is divergent in established studies, and to clarify the overall strength of association between them and their influencing factors, meta-analysis was used to integrate and analyze relevant studies at home and abroad. Through literature search and screening, a total of 34 papers with 42 effect sizes and a total sample size of 78,527 individuals were included. Publication bias tests showed that there was no publication bias in the literature included in the meta-analysis for this study; heterogeneity tests revealed that the random effects model was selected as more appropriate. The results indicated that fine motor skills were moderately positively correlated with mathematical ability（r = 0.27, 95%CI = [0.23, 0.32]）; the relationship was moderated by cultural background and fine motor skills measurement instruments, but not by children's age and gender. The results suggest that educators should pay attention to the development of basic motor skills of early children, take effective training methods of fine motor skills, improve children's fine motor skills, and promote the development of their mathematical ability.

Key words: fine motor skills, mathematical ability, embodied cognition, meta-analysis